



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO DE ENTREGA DE PEDIDOS DE UMA INDÚSTRIA DE CIMENTO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO**

Por,  
**Juliana Esterque Goldstein**

**Brasília, 27 de Junho de 2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# **ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO DE ENTREGA DE PEDIDOS DE UMA INDÚSTRIA DE CIMENTO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO**

POR,

**Juliana Esterque Goldstein**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Produção.

### **Banca Examinadora**

Prof. Reinaldo C. Garcia, UnB/ EPR (Orientador)

---

Prof. Sergio Ronaldo Granemann, UnB/EPR

---

Brasília, 27 de Junho de 2018

## **Dedicatória**

*Esta conquista é dedicada aos  
meus pais, Ana Beatriz e Sérgio  
Nathan.*

*Juliana Esterque Goldstein*

# AGRADECIMENTOS

*Aos meus pais, Ana Beatriz e Sérgio Nathan, que sempre estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória, apoiando minhas decisões e sonhos.*

*À minha avó Georgina que me ensinou a acreditar que tudo é possível e lutar pelo que quero.*

*Aos meus amigos e colegas que tornaram essa jornada mais leve e proveitosa.*

*Ao Professor Orientador Reinaldo Crispiniano Garcia, pela disposição, apoio, atenção e principalmente pela paciência e compreensão.*

*Juliana Esterque Goldstein*

## RESUMO

Das atividades que compõem a cadeia de valor das organizações, a logística tem demonstrado grande importância, já que seu impacto financeiro e estratégico ao longo dos anos se mostra cada vez mais relevante, e por isso, as empresas vêm buscando melhorias nos seus resultados. Os custos logísticos em relação ao faturamento das empresas variam de forma significativa de empresa para empresa e de setor para setor, mas no caso de grandes empresas industriais brasileiras, o custo logístico total chega, em muitos casos, a superar a margem de lucro média, principalmente em indústrias em que o produto final tem baixo valor agregado, como é o caso da empresa estudada neste projeto. Dentre as atividades logísticas, o transporte é a que consome a maior parte dos recursos. Pequenas economias nessa área impactam positivamente a companhia, e por isso os sistemas de roteamento de veículos vem ganhando grande destaque. O trabalho propõe a modelagem de um algoritmo que indica a melhor rota para a entrega de pedidos de uma indústria de cimento, com o objetivo de otimizar o custo total, tempo de operação, e garantir a qualidade de serviço do cliente. Por ser um problema de grande complexidade, incluindo as restrições como burocracias e legislações internas da empresa, o trabalho procura, a partir de métodos heurísticos, encontrar a melhor solução possível, que não necessariamente seja a solução ótima.

**Palavras-chaves:** Pesquisa Operacional, Modelo Matemático, Logística, Roteirização, Otimização.

# ABSTRACT

From the activities that compose the value chain of organizations, logistics has shown great importance, since its financial and strategic impact over the years has become increasingly relevant, and for this reason companies have been seeking improvements in their results. Logistic costs in relation to company revenues vary significantly from company to company and from sector to sector, but in the case of large Brazilian industrial companies, the total logistic cost, in many cases, surpasses the average profit margin, especially in industries in which the final product has low added value, which is the case of the company studied in this project. Among logistic activities, transportation is the one that consumes most of the resources. Small economies in this area positively impact the company, and that is why vehicle routing systems are gaining prominence. The work proposes the modeling of an algorithm that indicates the best route for the delivery of orders from a cement industry, with the objective of optimizing the total cost, time of operation, and guaranteeing the quality of customer service. Because it is a very complex problem, including constraints such as bureaucracies and company's internal legislations, this work seeks, from heuristic methods, to find the best possible solution, which is not necessarily the optimal solution.

**Keywords:** Operational Research, Mathematical Model, Logistics, Routing, Optimization.

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS DO PROJETO .....</b>	<b>13</b>
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
1.3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>PESQUISA OPERACIONAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>LOGÍSTICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>ROTEIRIZAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>HEURÍSTICA DE CLARKE E WRIGHT .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>PROBLEMA DA MOCHILA (KNAPSACK PROBLEM) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO .....</b>	<b>22</b>
2.6.1.	OTIF (ON TIME IN FULL) .....	22
2.6.2.	FRETE MORTO.....	22
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>O MODELO DE ESTUDO .....</b>	<b>24</b>
3.2.1	MODELO ATUAL .....	25
3.2.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	26
3.2.3	IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS .....	27
<b>4.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE ATUAÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>A FERRAMENTA .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>ALGORITMO.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA ALOCAÇÃO ÓTIMA – SIMULAÇÕES .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5</b>	<b>COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de fábricas da Regional Centro Norte.....	12
Figura 2 - Comparação de modelos com a redução da distância percorrida .....	19
Figura 3: Painel Inicial Roteirizador .....	49
Figura 4: Cálculo da Matriz de Distâncias .....	50
Figura 5: Cálculo da Matriz de Ganhos .....	51
Figura 6 - Esquema de funcionamento da ferramenta desenvolvida .....	30
Figura 7: Mapa da Transportadora - Edealina 09.06.2018.....	32
Figura 8: Resultado da Roteirização feita pelo Roteirizador .....	34
Figura 9: Resultados Roteirizador X Operador.....	34
Figura 10: Rota 1 - Roteirização Operador.....	35
Figura 11: Rota 2 - Roteirização Operador.....	36
Figura 12: Rota 3 - Roteirização Operador.....	36
Figura 13: Rota 4 - Roteirização Operador.....	37
Figura 14: Rota 1 - Roteirização Modelo Novo.....	37
Figura 15: Rota 2 - Roteirização Modelo Novo .....	38
Figura 16: Rota 3 - Roteirização Modelo Novo.....	38
Figura 17: Resumo dos Resultados – Edealina .....	40
Figura 18: Simulação dos Resultados - Edealina .....	40
Figura 19: Resumo dos Resultados - Sobradinho .....	41
Figura 20: Simulação dos Resultados - Sobradinho.....	41
Figura 21: Despesa de Frete Morto 2016 x 2017 .....	42
Figura 22: Correlação Frete Morto x OTIF.....	43



# LISTA DE SÍMBOLOS

Ebitda – Lucros antes de impostos, taxas, depreciação e amortização

PIB – Produto Interno Bruto

PO – Pesquisa Operacional

Ton - Toneladas

VC – Votorantim Cimentos

OTIF – On Time In Full

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO

O mundo moderno e a forma como o mercado tem se adaptado a ele exige ações e decisões cada vez mais rápidas. Dentro da área de logística essa readaptação é crucial para garantir o sucesso de uma empresa, pois é um setor de grande interface com o cliente, onde a flexibilidade e a agilidade podem garantir uma vantagem competitiva. Sendo assim, a logística vem sendo um setor em constante evolução, atrelado à busca de ganhos de competitividade e níveis de custos reduzidos, dentro de um mercado turbulento e imprevisível, com nichos de mercado altamente fragmentados, altas taxas de inovação, bem como a necessidade de se atender a customização esperada pelos clientes (FARIA,2015).

Das atividades que compõem a cadeia de valor das organizações, a logística tem demonstrado grande importância, já que seu impacto financeiro e estratégico ao longo dos anos se mostra cada vez mais relevante e por isso as empresas vêm buscando melhorias nos seus resultados. Os custos logísticos em relação ao faturamento das empresas variam de forma significativa de empresa para empresa, de setor para setor e comparando esses custos com a margem de lucro médio das companhias, esses chegam em muitos casos a superá-la, principalmente em indústrias que o produto final tem baixo valor agregado, como o cimento, que é o principal produto produzido pela empresa estudada. Dentre as atividades logísticas, o transporte é a que consome a maior parte dos recursos. Nas grandes empresas industriais brasileiras, os gastos com transportes correspondem, em média, a 64% do custo logístico total. A segunda maior fonte de despesas logísticas está relacionada com as atividades de armazenagem que correspondem a um total de 21% (FOSSATI, 2003).

O mercado cimenteiro atual teve pelo segundo ano consecutivo a deterioração das vendas de cimento, como consequência da queda do PIB brasileiro de 3,6% em 2016, após queda de 3,8% em 2015. De acordo com o relatório integrado da Votorantim Cimentos (2016), e as novas estratégias que vêm sendo traçadas pelas empresas concorrentes, a otimização dos custos tem se tornado cada vez mais necessária para garantir a vantagem competitiva. Os grandes *players* como a Votorantim Cimentos estão realizando grandes investimentos na área da logística buscando a diferenciação almejada.

O estudo do projeto apresentado, foi realizado no setor de logística em uma Fábrica de Cimentos do Grupo Votorantim, localizada no município de Sobradinho, região metropolitana de Brasília, no Distrito Federal, Brasil, no ano de 2017.

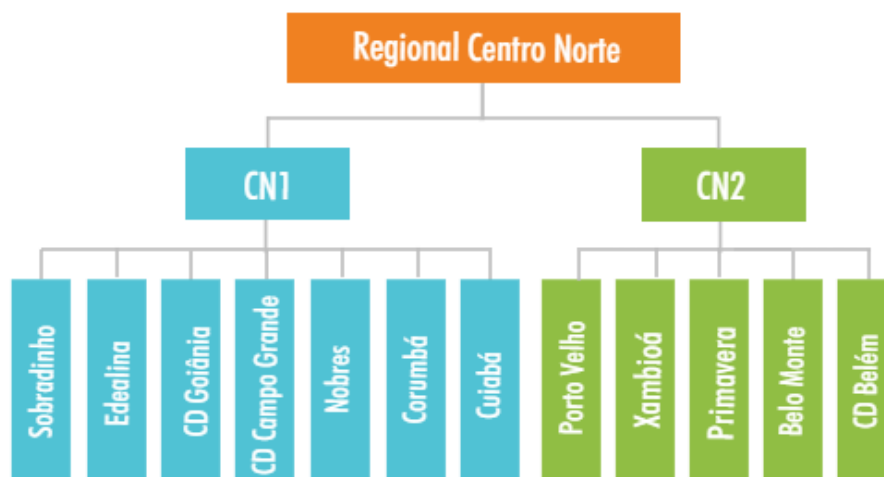
A Votorantim Cimentos S.A. é uma empresa do conglomerado industrial brasileiro, Grupo Votorantim, fundado pelo engenheiro pernambucano José Ermírio de Moraes em 1918. Além da Votorantim Cimentos (VC), o grupo reúne empresas de vários outros segmentos, todos com ênfase em setores de base da economia. O grupo foi estruturado em dois segmentos: industrial e financeiro, e está presente em mais de 20 países.

O cimento é o principal negócio do grupo Votorantim, com participação de 46% na receita e 47% no resultado operacional (Ebitda). A atividade de cimento obteve receita líquida de R\$ 3,48 bilhões, uma queda de 2,4% na base de comparação do ano de 2016. (Cimentos, 2016).

A Votorantim Cimentos (VC) está presente no mercado de materiais de construção (cimento, concreto, agregados e argamassas) desde 1933 e faz parte das 10 maiores empresas do mundo neste setor, com capacidade produtiva de cimento de 54,5 milhões de toneladas/ano e receita de R\$ 12,9 bilhões em 2014. Possui unidades estrategicamente localizadas próximas aos mais importantes mercados consumidores em crescimento e está presente em 14 países além do Brasil: Argentina, Bolívia, Canadá, Chile, China, Espanha, Estados Unidos, Índia, Marrocos, Peru, Tunísia, Turquia e Uruguai.

No Brasil, possui uma unidade corporativa, localizada em São Paulo, e quatro unidades regionais, são elas: Regional Centro Norte; Regional Nordeste; Regional Sul e Regional Sudeste.

A fábrica de Sobradinho, onde o estudo foi realizado, se encontra na regional Centro Norte, que abastece os estados do Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Distrito Federal (DF), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR), Tocantins (TO), mesorregiões como o extremo baiano – BA e noroeste de Minas – MG. Além da fábrica de Sobradinho, a Regional Centro Norte, ilustrada na Figura 1, é formada por oito fábricas (Edealina – GO, Nobres - MT; Cuiabá - MT; Xambioá - TO; Porto Velho - RO; Corumbá – MS e Primavera – PA) e quatro centros de distribuição (Goiânia - GO; Belém – PA, Belo Monte - PA e Campo Grande – MS), distribuídos dentro de duas grandes sub-regionais da seguinte maneira:



**Figura 1 - Distribuição de fábricas da Regional Centro Norte**

**Fonte: Elaborado pelo autor (2017).**

A regional é responsável por aproximadamente 40% do mercado de cimentos das regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil e tem uma margem de contribuição em média dentro da VC de 17% e representa 23,4% das despesas logísticas da VC. Esses valores se justificam pelo seu amplo território, com o maior raio médio de atendimento dentre as regionais da VC no Brasil, e pelas condições precárias de transporte da região, utilizando em sua maioria o modal rodoviário. Por questões econômicas, na regional toda a entrega de pedidos é realizada por empresas terceirizadas, ou seja, transportadoras e motoristas autônomos são contratados para realização da entrega do pedido. Na região atendida pela regional, muitas vezes a oferta de transporte não supre a demanda, tornando os valores de frete muito flutuante.

A área da logística dentro da VC é responsável pelo produto final, a partir do momento que esse está embalado, até a entrega do mesmo ao cliente, incluindo atividades como montagem de pallet, armazenamento, movimentação de estoque, carregamento de veículos, controle de motoristas, roteirização de pedidos, expedição, avarias e controle da satisfação do cliente.

O estudo propõe um modelo que busca a otimização da alocação de carga dentro dos veículos disponíveis, na etapa de roteirização, visando a redução de custos, diminuição de erros humanos, agilidade no processo e melhor atendimento ao cliente. Foram analisados em sua maioria dados da fábrica de Sobradinho e Edealina para a modelagem do problema, as melhores e piores unidades respectivamente nas condições de atendimento e custos de entrega.

## 1.2 OBJETIVOS DO PROJETO

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos através da utilização de um modelo matemático criado sob os conceitos de Pesquisa Operacional e Logística. O modelo desenvolvido procura otimizar as atividades logísticas de roteirização em uma indústria de cimento de grande porte, visando reduzir os custos logísticos, assim como otimizar o tempo de atendimento e o nível de serviço.

### 1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o processo de roteirização atualmente realizado e oportunidades de melhoria;
- Elaborar um modelo matemático para encontrar a alocação ótima dos pedidos que devem ser entregues;
- Implementar o modelo de roteirização da entrega de pedidos de forma a equilibrar o custo logístico com nível de serviço do cliente;
- Analisar o modelo proposto e os impactos na organização.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PESQUISA OPERACIONAL

Pesquisa Operacional é a aplicação de métodos, técnicas e instrumentos científicos a problemas que envolvem as operações de um sistema, de modo a proporcionar, aos que controlam o sistema, soluções ótimas para o problema em foco (CHURCHMAN, 1957).

Sendo assim, a Pesquisa Operacional visa de forma analítica, auxiliar nas tomadas de decisões para que essas sejam cada vez mais assertivas, considerando da melhor forma possível todas as variáveis envolvidas no problema, como os agentes envolvidos, aspectos socioculturais que podem interferir nas decisões, as incertezas e o tempo disponível para a tomada de decisão.

A Pesquisa Operacional envolve o estudo sobre operações, podendo ser aplicada em qualquer contexto e nas áreas mais distintas como manufatura, transportes, construção, telecomunicações, setor de saúde, entre outros. Em geral, pode ser aplicada em qualquer tipo de problema e resumidamente busca a solução ótima, sendo essa a minimização ou a maximização da função objetiva definida. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Alguns exemplos atuais da aplicação da técnica no ambiente empresarial são em problemas de roteirização, escolha de localização, definição de carteiras de investimento; alocação de pessoal; previsão de planejamento; determinação de mix de produtos; escalonamento e planejamento da produção; planejamento financeiro; análise de projetos e assim sucessivamente.

De forma sucinta, para resolver um problema utilizando a Pesquisa Operacional deve-se seguir os seguintes passos:

1. Definir o problema de interesse e coletar os dados;
2. Formular um modelo matemático que represente o problema definido;
3. Desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções para o problema com base no modelo;
4. Testar o modelo e aprimorá-lo caso necessário;
5. Preparar-se para a aplicação contínua do modelo;
6. Implementar o modelo.

Este trabalho é uma abordagem da Pesquisa Operacional até o passo 4, pois aqui serão apresentados os resultados do teste do modelo matemático proposto, para que este possa ser aprimorado e implementado posteriormente.

A definição do problema, o primeiro passo apresentado, é um momento de grande importância, pois é quando questões a serem resolvidas são pontuadas, assim como o objetivo a ser alcançado, restrições e possíveis caminhos. Os dados coletados devem ser confiáveis de modo que o resultado seja o melhor possível (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para a resolução do problema existem várias técnicas utilizadas como: a programação linear, que consiste em uma programação matemática em que as funções objetivo e de restrição são lineares; teoria das filas, que busca encontrar uma solução ótima para o problema, a partir de análises probabilísticas de um evento ocorrer; teoria dos grafos, que soluciona o problema a partir de uma representação gráfica das relações existentes entre elementos de dados; simulação, que consiste em criar modelos representativos de um processo ou sistema do mundo real, sendo uma ferramenta que nos permite analisar o efeito de mudanças em sistemas já existentes e também prever a performance de novos sistemas em diferentes circunstâncias; teoria dos jogos, que busca modelar fenômenos observados quando dois ou mais tomadores de decisão analisam estratégias de persuasão e tomada de decisão.

Em resumo, a Pesquisa Operacional é uma ferramenta prática que disponibiliza recursos para a atividade de gestão. Fornece parâmetros decisórios, considera cenários e estabelece, por meio de modelos matemáticos, diferentes possibilidades das soluções de problemas, proporcionando uma tomada de decisão mais confiável.

## 2.2 LOGÍSTICA

O conceito de Logística vem mudando muito ao longo dos anos e cada vez mais abrange novas etapas da cadeia de suprimentos, o que comprova sua importância na gestão empresarial. Uma das definições mais aceitas entre os profissionais relacionados é a do Conselho dos Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos (2005):

*“Logística é a parte do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla, de forma eficiente e eficaz, a expedição, o fluxo reverso e a armazenagem de bens e serviços,*

*assim como do fluxo de informações relacionadas, entre o ponto de origem e o ponto de consumo, com o propósito de atender às necessidades do cliente”.*

A partir desse conceito é possível observar que a Logística contempla as atividades relacionadas à obtenção, movimentação, embalagem, estocagem de material, expedição, transporte, e entrega ao cliente, controlando e processando todo o fluxo de material e informações. Com o avanço tecnológico e a necessidade de se atender ao mercado, que está cada vez mais integrado, o conceito de logística ganhou várias vertentes, que envolvem aspectos externos às organizações, relacionados a fornecedores e clientes (FOSSATI, 2003).

Pode-se resumir o objetivo da Logística, de acordo com os “*cinco certos*” inspirados por E. Grosvenor Plowman in Lambert et al. (1998), de como prover ao cliente os níveis de serviços por ele requeridos, com a entrega do “*produto certo, no lugar certo, no momento certo, nas condições adequadas e pelo custo certo*”. (FARIA,2015).

Buscando atender a esse objetivo é necessário equilibrar as expectativas dos clientes com os custos logísticos, e com isso é importante buscar estratégias, planejamentos e desenvolver sistemas que auxiliem a diminuição desses custos para que a empresa se torne competitiva.

Em um contexto altamente competitivo, a logística é um conceito em constante evolução e responsável pela busca de ganhos de competitividade com a redução de custos e contato direto com o cliente, contribuindo para garantir um bom nível de serviço ao consumidor. Dentro desse contexto a função da logística, está voltada a buscar caminhos, visando a eliminar desperdícios e a redução dos custos logísticos.

O conceito de custo total logístico é baseado no inter-relacionamento dos custos de abastecimento, produção e distribuição, o que inclui os custos de transporte, armazenagem, movimentação de materiais, manutenção do inventário, tecnologia de informação, tributários e os custos de oportunidade (FARIA,2015).

Os custos logísticos representam grande parte dos custos de uma empresa. Os custos de logística no Brasil são maiores do que de países da Europa, por exemplo, tanto na indústria quanto no comércio. Essas diferenças se dão principalmente nos custos de transporte e manutenção de inventário, que deve ser explicado tanto pelas distâncias geográficas quanto por efeito de inovações aplicadas nos processos logísticos. Dentro da indústria, os custos com



transporte no Brasil superam 33% dos custos logísticos totais e por isso a grande oportunidade de encontrar vantagem competitiva nessa área da logística se torna evidente (FARIA,2015).

## 2.3 ROTEIRIZAÇÃO

Segundo Lopes e Melo (2003), a roteirização é uma ferramenta que define itinerários a serem percorridos por veículos que atendam um depósito ou centro de distribuição. Outra definição consiste no processo de programação da distribuição da carga em rotas ou roteiros de entrega, realizando o cruzamento de informações de volume/peso da carga, capacidades dos veículos e locais de entrega, a fim de obter o melhor resultado em termos de ocupação dos caminhões e cumprimento dos prazos de entrega (RAGO, 2002).

Os principais objetivos dessa ferramenta são o monitoramento e controle, apoio à negociação e auditoria de frete e, planejamento e execução. No planejamento e controle, é possível definir previamente as rotas e os meios de transporte a serem utilizados pela empresa, considerando diferentes restrições como as paradas dos veículos e o tempo estimado de cada uma delas, os documentos necessários e a disponibilidade dos mesmos. Alguns dos benefícios que a roteirização pode trazer são a melhor utilização dos custos de transportes, a melhoria na composição de cargas e rotas, e a diminuição do tempo de planejamento para a distribuição e a montagem de cargas.

Os softwares utilizados para realizar a roteirização trabalham com algoritmos avançados de otimização e modelos que tem como objetivo minimizar o custo total da operação. Quanto aos benefícios proporcionados pelos softwares roteirizadores, tem-se a redução dos custos de transporte com a melhor ocupação dos veículos utilizados, bem como melhoramento do sincronismo de fluxos dos produtos, diminuindo o tempo de atendimento ao cliente e consequentemente elevando o nível de serviço do consumidor (RAGO, 2002).

Sabe-se que a roteirização traz vários benefícios, porém alguns fatores podem dificultar sua implementação. Geralmente softwares que auxiliam na sua execução tem o custo bastante elevado e de difícil adaptação às empresas, e é necessária uma base de dados atualizada para que a rota definida seja a melhor possível.

## 2.4 HEURÍSTICA DE CLARKE E WRIGHT

O método de Clarke e Wright também conhecido como o método das economias, baseia-se na noção de economias, que pode ser definido como o custo da combinação, ou união, de duas subrotas existentes. Trata-se de uma heurística iterativa flexível suficiente para resolver uma ampla coleção de restrições práticas, sendo relativamente rápida em termos computacionais, para problemas com um número razoável de paradas, é capaz de gerar soluções quase ótimas. Este método consegue superar muitas restrições práticas, principalmente em função da sua capacidade de, simultaneamente, elaborar roteiros e sequenciar paradas nesses roteiros (BALLOU, 2006).

O objetivo do método é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessários para servir todas as paradas (BALLOU, 2006).

O modelo sugere que, inicialmente, cada cliente será atendido por um veículo, constituindo rotas entre o depósito e cada cliente como evidenciado na Figura 2 (a). Isso fornece a distância máxima abordada no problema da roteirização. Em seguida, combinam-se duas paradas no mesmo roteiro a fim de tornar possível a eliminação de um dos veículos e a redução da distância percorrida. Duas rotas que contenham os clientes  $i$  e  $j$  somente podem ser combinadas, desde que  $i$  e  $j$  estejam ou na primeira ou na última posição de suas respectivas rotas e se as restrições do problema sejam respeitadas (BALLOU, 2006).

Para definir quais clientes serão atendidos pelo roteiro, a distância economizada é calculada antes e depois da combinação, e as duas rotas que renderem a maior economia de combinação são unidas. A distância economizada pela combinação de dois pontos (A e B) é calculada pela subtração da distância mostrada na Figura 2 (b) da que está na Figura 2 (a). O valor economizado é, portanto  $S = d_{0,A} + d_{0,B} - d_{A,B}$ . Este cálculo é feito para todas as combinações de parada. O roteiro revisado está na Figura 2 (b) (BALLOU, 2006).

A cada nova combinação de subrotas as economias são novamente calculadas e atualizadas para a próxima combinação de subrotas. O processo continua até que se esgotem todas as possibilidades de combinação de rotas do roteiro com nenhuma outra, ou caso as restrições do problema não sejam mais respeitadas, passando então para outra subrota que será tomada como referência (LIU; SHENG, 1999).

a) Roteiro inicial – distância do roteiro  
 $= d_{0,A} + d_{A,0} + d_{0,B} + d_{B,0}$

b) Combinando duas paradas num roteiro –  
 distância da rota  $= d_{0,A} + d_{A,0} + d_{0,B} + d_{B,0}$

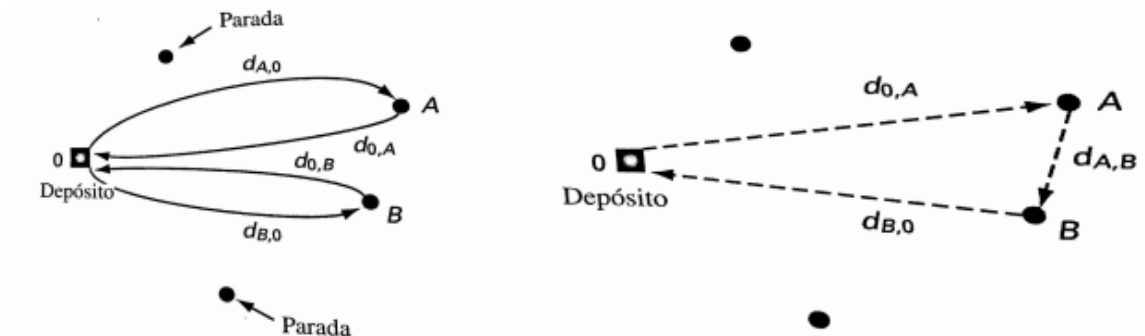


Figura 2- Comparação de modelos com a redução da distância percorrida

Fonte: BALLOU, 2006.

Resumidamente, o algoritmo de Clarke & Wright pode ser dividido em 5 passos (GAMA, 2011) e (LAPORTE, 1992):

1. Fazer a combinação dois a dois de todos os pontos;
2. Calcular os ganhos de todos os pares de pontos;
3. Ordenar os ganhos em ordem decrescente;
4. Iniciar a análise dos pontos pelo par de maior ganho, passando para o segundo par de maior ganho e assim sucessivamente;
5. Considerar duas rotas com os arcos e caso o ganho seja maior que zero, introduzir o arco e deletar os outros arcos iniciais. Continuar repetindo o passo 5 até que mais nenhuma melhoria seja possível.

A abordagem das economias nos permite incluir muitas restrições que são muito importantes em aplicações para problemas reais. A solidez do método tem origem na sua capacidade de simultaneamente atribuir uma parada a um roteiro e situá-la na sequência apropriada na rota. Por isso todas as restrições devem ser testadas antes da adição de uma nova rota. Uma vez que está sendo constantemente testada, essa abordagem, considerando a

complexidade do problema, aumenta a probabilidade de se encontrar uma solução ótima (BALLOU, 2006).

## 2.5 PROBLEMA DA MOCHILA (KNAPSACK PROBLEM)

O problema da mochila (em inglês, Knapsack problem) é um problema de otimização combinatória que foi pensado metaforicamente como o desafio de encher uma mochila sem ultrapassar um limite de peso definido.

Exemplificando melhor, o problema a ser resolvido é preencher uma mochila com objetos de diferentes tamanhos, pesos e valores de forma que a mochila seja preenchida com o maior valor possível, não ultrapassando o peso máximo.

Por ser um problema de natureza combinatória, a sua resolução pode ser realizada com a escolha da melhor solução encontrada a partir da comparação de todas as soluções admissíveis. Porém, devido à grande quantidade de possíveis soluções, o processo se torna complexo, e dependendo do tamanho do problema pode se tornar inviável. Com a necessidade de solucionar esses problemas mais complexos, na década de 50, através da programação dinâmica se aplicou a função recursiva de Bellman, que se mostrou uma forma mais eficiente de se encontrar as possíveis soluções. A partir dessa nova técnica, foram apresentados diversos avanços, porém a maior parte dos estudos foram dedicados ao problema da mochila simples, com um único critério.

A maioria dos problemas reais exige uma análise que considere mais do que um único critério, e o aumento do número de critérios resulta em um aumento significativo do número de soluções, o que dificulta a sua resolução. Neste tipo de problema, em geral, não existe uma solução que otimize todos os critérios envolvidos de uma vez, já que alguns dos critérios podem ser conflituosos entre si, e com isso encontramos um conjunto de soluções admissíveis (CLEMENTE, 2010).

O *Knapsack problem* pode ser aplicado em muitos problemas reais, como por exemplo: controle orçamental; otimização de estoque; carregamento de equipamentos; escolha de equipamentos para uma indústria; gravação de arquivos desperdiçando o mínimo espaço em cada mídia, entre outros (EHRGOTT; RYAN, 2002); (MARTELLO, 1990), (FRÉVILLE, 2004).

Além dos exemplos apresentados, pode-se utilizar esse algoritmo para selecionar a melhor combinação de pedidos a serem entregues por caminhões de carga, buscando aproveitar da melhor forma os veículos que serão utilizados na entrega. Este trabalho consiste em uma abordagem do problema da mochila aplicado às entregas de pedidos de uma indústria de cimento.

Nos últimos anos foram propostas várias abordagens para o cálculo de todas as soluções para o caso bi critério e também multicritério, mas apesar das várias formas estudadas para encontrar a otimização, o cálculo de todas as soluções do problema da mochila multicritério, continua uma tarefa difícil. Os algoritmos exatos têm uma aplicação limitada, devido às limitações computacionais ou a quantidade máxima de itens.

Para superar estas limitações várias pesquisas têm sido feitas na área das heurísticas e metaheurísticas em busca de métodos alternativos. Estes, embora não permitam o cálculo de todas as soluções possíveis, têm-se revelado eficientes em lidar com situações que envolvem critérios múltiplos, restrições múltiplas, maior número de soluções e itens, auxiliando na obtenção de resultados mais exatos, o que nos métodos tradicionais seriam praticamente impossíveis. É importante se estabelecer um compromisso entre a qualidade das soluções obtidas e o tempo necessário para a realização do cálculo. Dentre estes métodos, destacam-se os métodos evolutivos, como os algoritmos, a otimização através das colônias de formigas, o método de arrefecimento simulado, a pesquisa tabu, o método da pesquisa por dispersão, os métodos 4 baseados em aproximações polinomiais e os métodos híbridos que resultam na combinação de dois ou mais métodos (CLEMENTE, 2010).

Voltando ao conceito inicial, o objetivo do modelo é de maximizar o valor da mochila respeitando as restrições impostas. A equação a seguir explica de forma simplificada a lógica do método:

$$F(x) = \max \sum_{i=1}^n p_i x_i$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1,2,\dots,n$$

Onde  $p_i$  e  $w_i$  são o valor e o peso de  $i$ , respectivamente, e  $W$  é a capacidade da mochila. No problema se um item é adicionado na mochila, a variável de decisão associada a este toma valor um ( $i = 1$ ), caso contrário, toma valor zero ( $i = 0$ ). (Xinjie Yu, 2010). O algoritmo continua suas interações até que o valor máximo respeitando as restrições definidas seja obtido.

## 2.6 INDICADORES DE DESEMPENHO

Indicadores de desempenho servem para indicar como estão os resultados das ações realizadas, e essas vão direcionar o comportamento da equipe. Um dos princípios básicos da gestão é a mensuração de resultados como já dito por Joseph Juran: “*Quem não mede não gerencia*”.

Para melhor compreensão deste trabalho, serão apresentados a seguir dois indicadores que são de extrema importância dentro da Votorantim Cimentos, e como dito acima, estes indicadores direcionam o comportamento das equipes de trabalho, e por isso a necessidade da ferramenta desenvolvida estar alinhada aos mesmos objetivos.

### 2.6.1. OTIF (ON TIME IN FULL)

O OTIF é um dos indicadores utilizados para medir a satisfação do cliente, já que esse controla se o pedido do cliente foi carregado de maneira correta e na data correta. Um dos maiores desafios do OTIF são os pedidos que não podem ser entregues no dia. Os pedidos geralmente não são atendidos na data correta quando não é possível completar um volume mínimo, de forma que o custo do frete seria compensado pela venda dos produtos entregues. Com isso é necessário enviar uma solicitação de complemento e seguir o fluxo de complemento de pedidos, onde uma área específica da empresa irá buscar vender novos pedidos de forma a integralizar o volume mínimo. Esse processo demora em torno de 3 dias, e durante esse tempo os pedidos ficam pendentes nas unidades. Esse é um indicador crítico, e que vemos ser muito atrelado a gastos extras com frete para garantir a entrega no prazo correto e a meta do indicador.

### 2.6.2. FRETE MORTO

O Frete Morto é indicador do custo que pago para veículos carregados abaixo da sua capacidade entregarem o produto aos clientes. Ou seja, visando garantir um OTIF alto, opta-se

por pagar o frete morto para que o caminhão entregue determinada quantidade de produtos, quando não é possível combinar pedidos dentro do mesmo veículo. Por exemplo, caso tenha-se um caminhão de 38 toneladas para entregar um pedido de 4 toneladas em uma cidade do MS, caso não seja possível agrupar outros pedidos dentro desse caminhão, iremos pagar 34 toneladas de frete morto. Esse é um dos custos que mais incomoda a empresa, e um foco da solução proposta pela ferramenta.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa realizada segue uma abordagem quantitativa e qualitativa, pois os dados coletados foram transformados em números e analisados. Entretanto, foi necessário considerar a relação entre o mundo real e o sujeito, visto que os dados foram gerados de forma manual e sem um padrão definido, tornando de extrema importância a observação e participação dos indivíduos no processo.

A pesquisa é de natureza aplicada, já que busca gerar conhecimento para aplicação prática visando solucionar o problema definido a partir dos números identificados e analisados.

Quanto ao objetivo pode-se classificá-lo como exploratório e descritivo, pois foi necessário proporcionar maior familiaridade com o problema, já que não existia nenhuma técnica utilizada para a alocação dos pedidos. Desta maneira, um levantamento bibliográfico foi realizado, assim como entrevistas com as pessoas responsáveis pelas atividades a serem analisadas pelo modelo, e estudo dos resultados dessas atividades para possibilitar a quantificação do problema. Foi realizada, também, a coleta de dados a partir de observação e relatórios gerados, para que garantisse uma maior assertividade do modelo. (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

Alguns dos procedimentos técnicos utilizados foram pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e experimental. A pesquisa bibliográfica foi elaborada a partir de material já publicado, incluindo livros, artigos e internet. A pesquisa documental foi elaborada a partir de material que não recebeu tratamento analítico. Por fim, na pesquisa experimental foi determinado um objeto de estudo, selecionadas variáveis relevantes a este, e definidas formas de controle e de observação dos efeitos que tais variáveis produzem no objeto.

### 3.2 O MODELO DE ESTUDO

Após a identificação do problema dentro da área da Logística da empresa e da criação da necessidade do desenvolvimento de um modelo que buscasse otimizar os custos logísticos



com a alocação de pedidos, foi necessária a realização de uma pesquisa bibliográfica extensa a partir da qual foram identificados os conceitos que iriam compor o modelo.

O modelo definido foi idealizado para otimizar custos com fretes de entregas, buscando manter o nível de serviço do cliente, já que este é um importante indicador para a empresa. Sendo assim, o modelo deve buscar a melhor combinação de pedidos dentro dos veículos disponíveis, buscando atender a todos os clientes dentro do prazo estipulado.

A partir do modelo foi desenvolvida uma ferramenta no *software* Excel, visando a disponibilidade de recursos e facilidade de adaptação do usuário, para que fosse possível entregar em tempo hábil e de forma satisfatória a roteirização dos pedidos. Além disso, foi feita a integração com o sistema de gestão de informações utilizados, o SAP, para armazenar e gerar informações sobre clientes e pedidos, integrando assim o sistema já utilizado com a ferramenta desenvolvida, buscando novamente a agilidade e confiabilidade do processo.

### 3.2.1 MODELO ATUAL

A alocação de pedido atualmente é realizada de forma manual, ou seja, todo dia pela manhã as expedições de cada fábrica precisam acessar o SAP, fazer download da grade de pedidos, e realizar a combinação dos pedidos de acordo com os conhecimentos prévios de cada operador.

Uma das grandes dificuldades dessa atividade é a junção das cidades e combinação dos pedidos da melhor maneira, mesmo que os operadores utilizem o *google maps* para verificar distâncias, por demandar muito tempo dos mesmos, e por existirem tantas outras demandas nas expedições, a combinação dos produtos não é realizada da melhor forma, inclusive pois os operadores não teriam como levar em consideração todas as variáveis possíveis.

Quando não é possível fechar a carga, ou seja, a capacidade do caminhão não é completada, os operadores devem enviar o caso para uma célula de complementação que atende todo o Brasil, e demora em média três dias para concluir o processo, e além disso, não de forma muito eficiente. Quando o pedido do cliente tem que passar por esse fluxo, o OTIF é perdido, pois o cliente não irá receber o pedido na data correta.

Como resultado desse modelo, foi possível verificar que no primeiro trimestre de 2017, em média 42,2% dos pedidos ficaram pendentes, e desse valor 81,5% foram responsabilidades

da logística. Os outros 18,5% podemos associar a falta de produto ou problemas técnicos e pontuais existentes. Dentro dos motivos pelos quais a logística deixa de atender algum pedido, podemos considerar como falta de transporte, erros operacionais, mas principalmente a complementação de pedidos.

### 3.2.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A Votorantim Cimentos, como dito anteriormente, tem um importante indicador que é o de satisfação do cliente, e a partir de pesquisas realizadas, identificou-se que pontualidade de entrega é o fator mais relevante dentro da satisfação dos clientes da empresa. Sendo assim, todos os pedidos devem ser entregues na data definida pelo vendedor. O problema então é que, para atender a esse requisito, muitas vezes é necessário enviar veículos com carga abaixo da sua capacidade, porém o custo dessa entrega é o mesmo, caso esse veículo estivesse com 100% da sua capacidade ocupada por produtos. Essa diferença de frete pago é o que chamamos de frete morto.

A definição dos pedidos que irão compor cada um dos caminhões é feita atualmente pelos operadores das unidades que não possuem conhecimento técnico e nem informações suficientes para fazerem a melhor alocação dos pedidos. Este procedimento é feito inteiramente pelos colaboradores sem auxílio de softwares ou outras ferramentas que poderiam tornar o processo mais assertivo e ágil.

Como já mencionado, os gastos com transportes são os maiores custos logísticos, e qualquer economia nessa área traz grandes resultados. O custo de frete na empresa é uma combinação da distância da entrega e do volume entregue, sendo assim, ao alocar melhor os produtos, ou seja, de forma a diminuir a quantidade de veículos utilizados, o que acarretará em diminuição de gastos para a companhia, mesmo que aumente a distância percorrida.

No primeiro trimestre do ano de 2017, na regional Centro Norte, houve um gasto médio com fretes de R\$ 16.014.691,00, o que corresponde a um volume de 316.885 ton. Falando de frete morto esse valor chega a R\$ 138.350,00 e volume de 7.410 ton. Considerando o percentual de frete morto frente ao frete pago, parece ser baixo, não chega a 1%, porém deve-se lembrar que este é um dinheiro gasto sem um retorno financeiro para a empresa.

Sendo assim, o procedimento é realizado de forma totalmente manual, associando os resultados às pessoas e não ao processo. Sendo assim, é possível notar a diferença dos índices

de pontualidade de entrega e gastos com frete morto, nas unidades em que a equipe é bem treinada e consolidada, para outras onde a equipe é inexperiente. É importante pontuar que apesar de termos bons técnicos, a associação do resultado às pessoas os tornam não sustentáveis e propícios a falha.

### 3.2.3 IDENTIFICAÇÃO DE MELHORIAS

O modelo proposto visa agilizar o processo de roteirização, permitindo assim que os operadores e técnicos tenham mais tempo para se dedicar a outras atividades de melhoria para a empresa, reduzir o custo com fretes morto, que são pagos em caso de dificuldades de fechamento de carga, e garantir a satisfação do cliente, ao entregar os pedidos na data correta.

## 4. PROPOSIÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE

### 4.1 DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE ATUAÇÃO

A definição do cenário de atuação foi realizada por motivos de facilidade de acesso às informações e visto que a fábrica de Sobradinho, onde o modelo foi testado previamente, é a maior fábrica da Regional Centro Norte, o desdobramento do modelo para as outras fábricas de menor complexidade não seria tão problemático. Além disso a fábrica de Sobradinho tem o melhor resultado no indicador de satisfação do cliente e menores gastos com frete morto, principalmente por ter uma equipe já consolidada e experiente. Desta forma, apesar de a alocação de pedidos já ser realizada de uma forma satisfatória, conforme apresentado a seguir, de ainda é possível encontrar melhorias.

Além disso, foram realizadas simulações na Fábrica de Edealina, uma das mais novas, com a equipe mais inexperiente e desestruturada da Regional, a que tem o pior índice de pontualidade de entrega ao cliente e maiores gastos com frete morto, observa-se que os ganhos obtidos para a esta serão ainda maiores.

Ao comparar os dois extremos de resultados dentro da regional será possível verificar que o modelo proposto trouxe bons resultados, realçando a sua importância, pontuando a confiabilidade no processo realizado e não nos indivíduos, buscando assim resultados sustentáveis para a empresa, que poderão ser desdobrados para outras unidades.

### 4.2 A FERRAMENTA

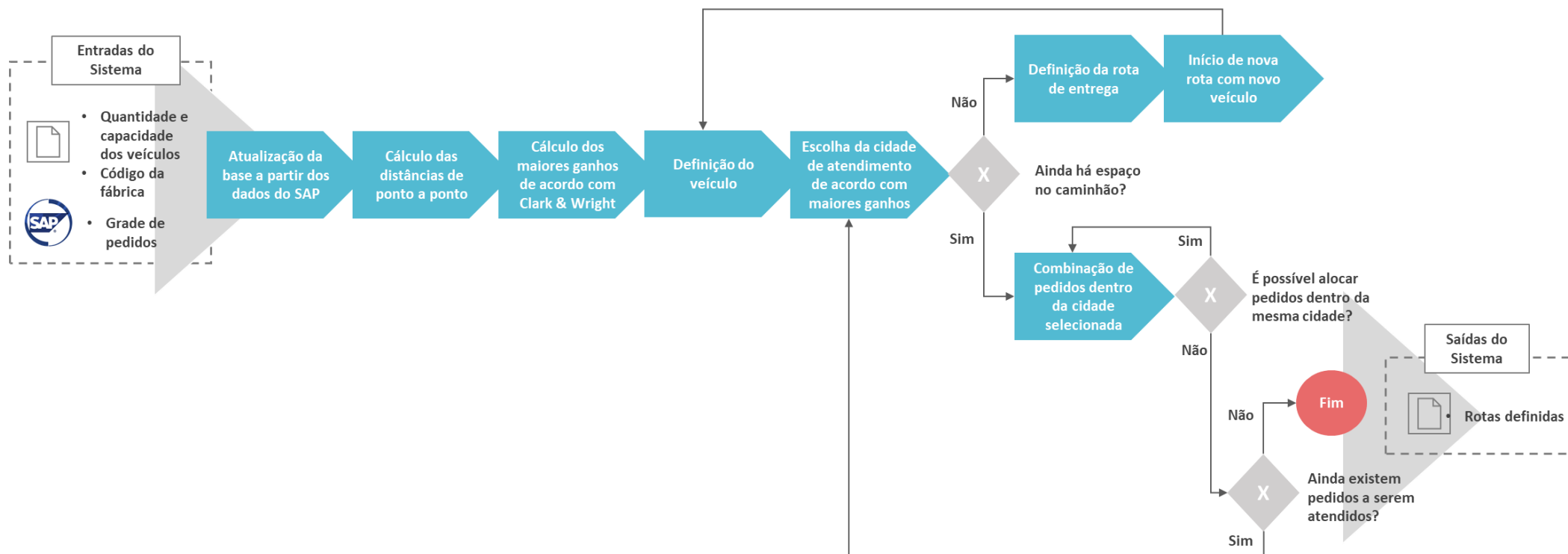
A ferramenta foi desenvolvida com uma interface simples (Figura 3 – Anexo A), onde o usuário daria entrada em alguns dados principais como quantidade e capacidade de veículos disponíveis, o período de entrega dos pedidos e o código da fábrica e ao solicitar a geração de rota, o algoritmo calcularia a melhor combinação possível de acordo com as restrições e os parâmetros definidos.

A primeira operação da ferramenta é puxar o banco de dados do SAP com os pedidos que devem ser entregues dentro do período definido. A partir desses dados, são calculados com o auxílio do *google maps* as distâncias entre cada cidade da base, montando a matriz de

distâncias, apresentada na Figura 4 (Anexo A), e sendo possível, assim, calcular os ganhos das rotas de acordo com as metodologias escolhidas (Figura 5 – Anexo A).

Após ordenar todos os ganhos do maior para o menor, a ferramenta verifica se existem caminhões disponíveis, e caso isso seja verdade, escolhe o caminhão de maior capacidade, pois este deverá realizar as entregas mais distantes, que estão relacionadas aos maiores ganhos. Assim, é feita a escolha da cidade de maior ganho e com o modelo do *Knapsack problem* é feita a melhor combinação dos pedidos da cidade definida para que o caminhão seja carregado de forma mais eficiente possível.

Caso o caminhão não esteja cheio com os pedidos para a mesma cidade, o algoritmo busca a próxima cidade vinculada ao segundo maior ganho, e novamente entra-se no *loop* do *Knapsack* buscando a melhor combinação dentro dessa segunda cidade definida. O programa continua realizando essa operação até o preenchimento do caminhão. Quando o caminhão está carregado da melhor maneira possível, define-se a rota desse veículo e inicia-se uma nova rota, que irá funcionar da mesma forma. O programa continua a buscar a melhor combinação de pedidos em cada tipo de veículo até que não existam mais clientes a serem atendidos. A Figura 6 ilustra este procedimento.



**Figura 3 - Esquema de funcionamento da ferramenta desenvolvida**

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

#### 4.3 ALGORITMO

Para a definição do algoritmo utilizado no estudo foi feita uma combinação de dois algoritmos existentes, o problema da mochila (*Knapsack problem*) e a heurística de Clarke e Wright, onde a partir da melhor combinação de pedidos definida pelo *Knapsack problem*, foi possível definir a rota ótima com o auxílio do algoritmo de Clarke e Wright.

A partir das distâncias calculadas entre os pontos de entregas, são definidos os ganhos de acordo com Clarke e Wright, e a combinação de maior ganho será atendida pelo caminhão de maior capacidade, já que os maiores ganhos estão relacionados às maiores distâncias do depósito de origem. O preço do frete varia de acordo com o km percorrido, sendo assim, as entregas de maiores distâncias são mais viáveis quando feitas com veículos de maior porte. Assim, deve-se primeiramente preencher os caminhões de maior capacidade, com os pedidos para as cidades mais distantes, e conforme os caminhões vão sendo preenchidos e os pedidos atendidos, as cidades mais próximas serão atendidas com os veículos de menor capacidade, e consequentemente com menor preço de frete caso seja necessário o pagamento de frete morto.

O *Knapsack problem* busca a melhor combinação dos pedidos considerando o peso de cada pedido e o volume aceito pelo caminhão, e buscando encher o máximo possível de todos os caminhões. Quando o primeiro caminhão está cheio ou não é possível alocar mais nenhum pedido, inicia-se um novo caminhão.

Dessa forma, todos os pedidos serão atendidos, utilizando o menor número de veículos possíveis, e com o menor custo, já que as cidades mais distantes serão atendidas primeiro com os veículos de forma mais cheia possível, deixando os veículos a uma curta distância com os gaps de capacidade.

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DA ALOCAÇÃO ÓTIMA – SIMULAÇÕES

Foram feitas simulações de dez dias com a Fábrica de Sobradinho e de oito dias na fábrica de Edealina, onde foram utilizados os dados reais da operação, como pedidos entregues, quantidade e volume dos caminhões utilizados e valor de frete morto.

Foi utilizada como a base de pedidos, a “Guerra do Dia” das unidades, onde constam informações como N° do pedido do cliente, nome do cliente, produtos, volume dos produtos,

cidade e endereço de entrega, data de entrega e unidade de origem, para realizar a simulação. Além da “Guerra do Dia”, para saber os resultados da roteirização realizada pelos operadores nos dias da simulação, foram utilizadas os “Mapas do Transportador” (Figura 7) onde constam os pedidos que serão entregues juntos e as cidades de atendimento, e o volume do caminhão. Sendo assim, cada caminhão foi identificado com um id, um número referência do dia para que fosse possível fazer a comparação com o resultado proposto pela ferramenta.

Cada caminhão inserido como entrada na ferramenta será identificado com um id, que é composto pelo tipo de caminhão e o número do caminhão, de acordo com a quantidade de caminhões do tipo definidos. Por exemplo, o operador dá a entrada em 4 caminhões do tipo 1, que comporta um volume de 40 toneladas, teremos assim os caminhões “1.4”, “1.3”, “1.2” e “1.1” referentes ao tipo 1.

Resultado Operador					
Data	Pedido	Vol	Cidade	Contemplado	Caminhão
09.06.2017	2019637910	2.006,00	URUACU	3001149667	1
09.06.2017	2019637910	1.605,60	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019637910	20,12	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019631095	6.018,00	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019608815	2.006,00	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019608815	4.012,00	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019608815	20,12	URUACU	3001149667	
09.06.2017	2019631828	2.006,00	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019631828	2.007,00	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019631828	20,12	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019632691	4.012,00	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019632691	10.030,00	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019632691	20,12	NIQUELANDIA	3001149667	
09.06.2017	2019637836	6.018,00	NIQUELANDIA	3001149667	
08.06.2017	2019634149	6.018,00	MINACU		2
08.06.2017	2019634149	20,12	MINACU		
08.06.2017	2019634149	401,40	MINACU		
08.06.2017	2019631943	4.012,00	GUARANI DE GOI	ok	3
08.06.2017	2019631943	10.030,00	GUARANI DE GOI	ok	
12.06.2017	2019643631	2.006,00	ITAPACI		4

Figura 4: Mapa da Transportadora - Edealina 09.06.2018



Seguindo então o fluxo do modelo antigo, a partir dos pedidos da Guerra do Dia, o operador realizou a roteirização abaixo, onde os pedidos foram entregues em 4 caminhões, porém dois caminhões que contém alguns pedidos não preencheram a capacidade do caminhão e tiveram que ser enviados para a célula de complemento.

Ao utilizar a mesma base de pedidos pelo roteirizador, obteve-se a roteirização de acordo com a Figura 5, onde todos os pedidos foram contemplados em apenas três caminhões, e tendo um aumento na média de toneladas entregues por caminhão de 16 ton para 21 ton como podemos verificar na coluna “Ocupação (ton)”. Como tivemos todos os pedidos entregues pelo roteirizador, e pelo operador tivemos dois pedidos não entregues, conclui-se que aumentamos o nível de atendimento em 25% nesse dia.

Na Figura 6 é apresentada a comparação de resultados, em que tem-se a quantidade de ton/viagem ganhas (valor positivo) com o roteirizador, calculada como a diferença da quantidade de toneladas médias entregues por caminhão no cenário do roteirizador e a do operador. Também é apresentado o ganho de toneladas no dia, calculado a partir do ganho de viagens multiplicado pela quantidade de viagens por dia.

Para calcular o ganho em reais por viagem ( $R\$/Viagem$ ) foi multiplicado a quantidade de ton/viagem pelo frete médio pago por tonelada pela unidade. Esse frete médio foi calculado usando a base de fretes pagas no ano de 2017 de cada unidade, no caso do exemplo, a fábrica de Edealina. Finalmente, o valor em reais ganho por dia foi obtido multiplicando o ganho por viagem pela quantidade de viagens realizada no dia.

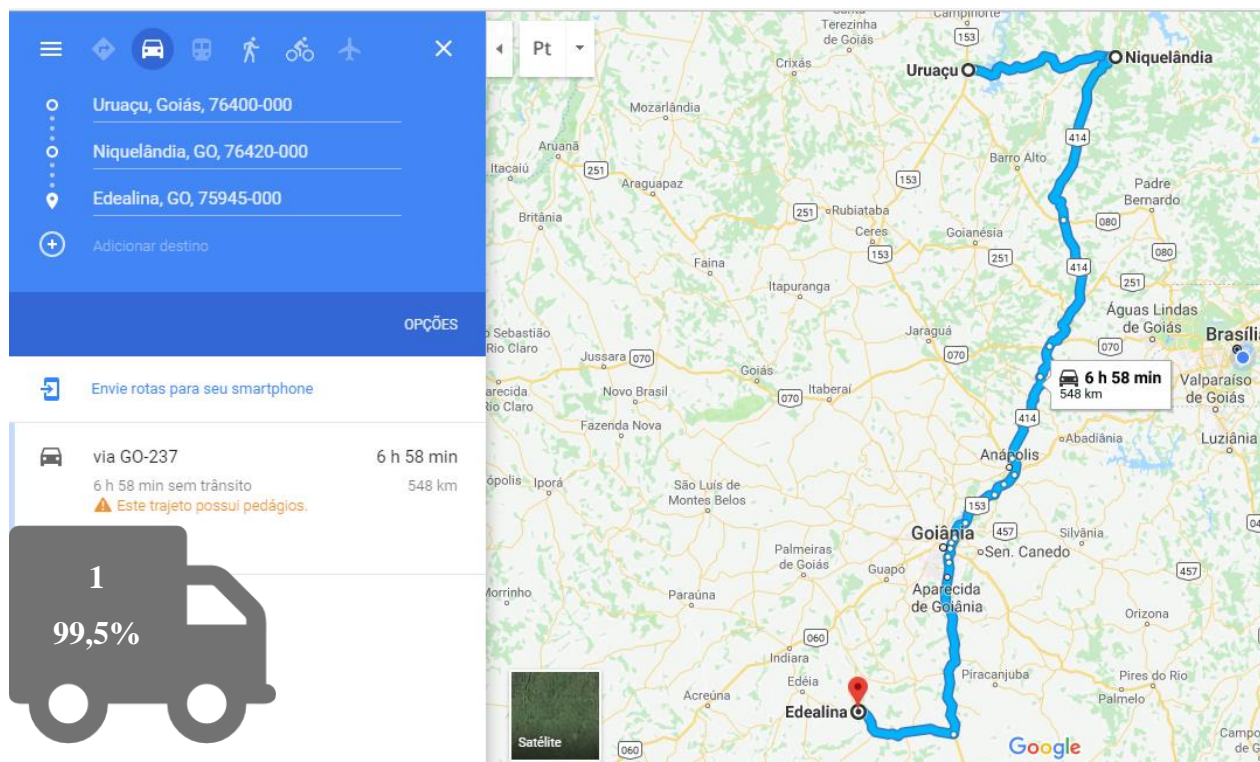
Resultado Roteirizador					
Data	Pedido	Volume	Destino	Contemplado	Caminhão
09.06.2017	2019631095	6,018	URUACU GO	VERDADEIRO	3.2
09.06.2017	2019637836	6,018	NIQUELANDIA GO	VERDADEIRO	3.2
09.06.2017	2019637910	3,6116	URUACU GO	VERDADEIRO	3.1
09.06.2017	2019608815	6,03812	URUACU GO	VERDADEIRO	3.1
09.06.2017	2019632691	14,042	NIQUELANDIA GO	VERDADEIRO	1.1
08.06.2017	2019631943	14,042	GUARANI DE GOIAS GO	VERDADEIRO	1.1
08.06.2017	2019634149	6,4194	MINACU GO	VERDADEIRO	1.1
09.06.2017	2019631828	4,013	NIQUELANDIA GO	VERDADEIRO	1.1
12.06.2017	2019643631	2,006	ITAPACI GO	VERDADEIRO	1.1

Figura 5: Resultado da Roteirização feita pelo Roteirizador

Edealina										
09.06.2017										
Resultado Roteirizador				Resultado Operador VC				Comparação Resultados		
Caminhão	Vol. Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ñ atendidos	Caminhão	Vol. Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ñ atendidos	Ton/Viagem	R\$/Viagem	Ganho de Atendimento (Pedido)
3.2	14	12,0	0	1	40	39,8	2	5,2	R\$ 116,95	25%
3.1	14	9,6		2	14	6,4				
1.1	40	40,5		3	14	14,0				
				4	14	2,0				
3		21	0%	4		16	25%	15,5	R\$ 350,84	25%

Figura 6: Resultados Roteirizador X Operador.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 a seguir representam as rotas definidas pelo operador, e possuem o percentual da capacidade do caminhão utilizada para realizar as entregas. Estas servem de comparativo para as Figuras 14, 15 e 16, onde os mesmos pedidos foram distribuídos em apenas três caminhões.



**Figura 7: Rota 1 - Roteirização Operador**

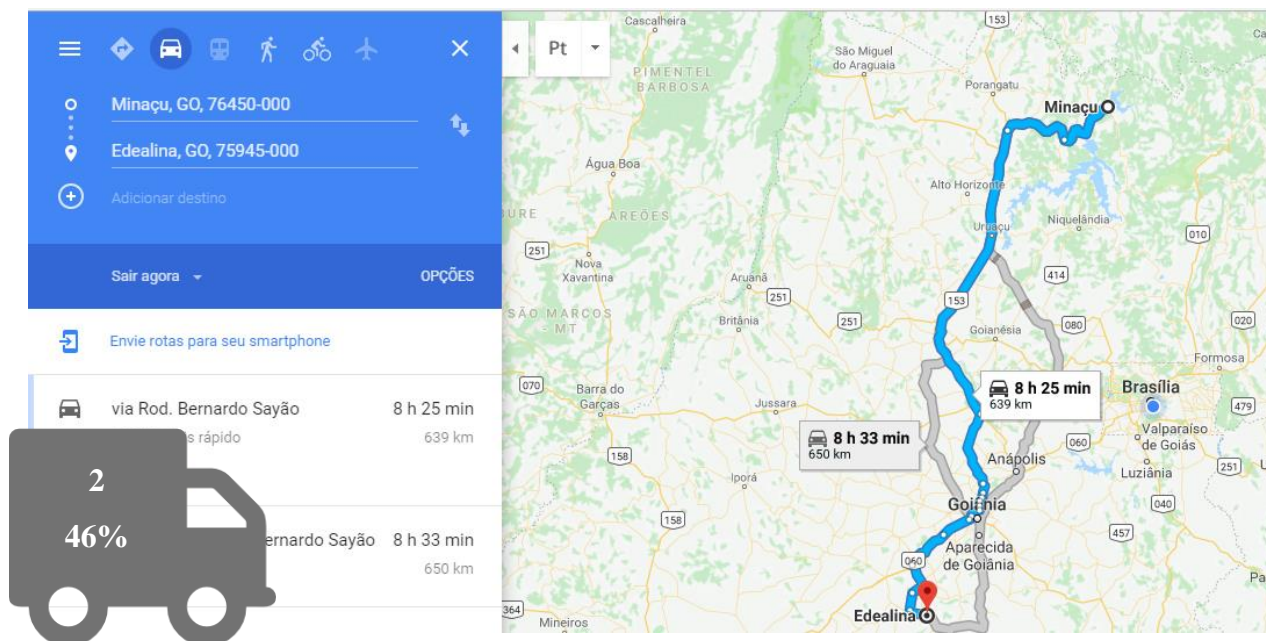


Figura 8: Rota 2 - Roteirização Operador

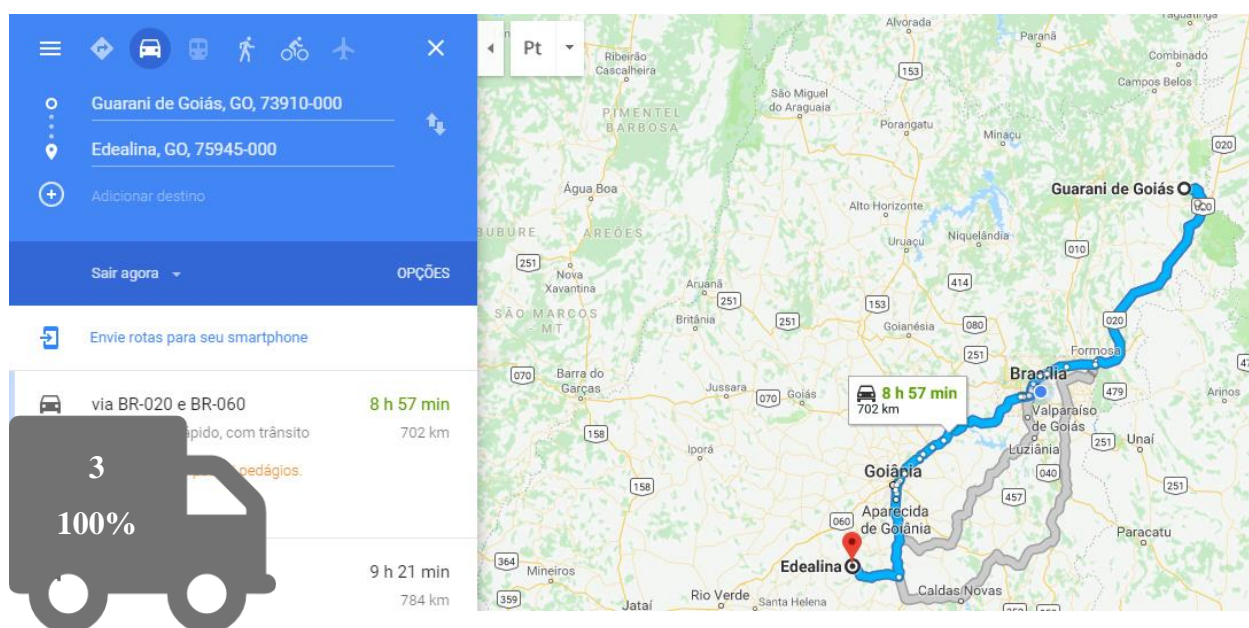


Figura 9: Rota 3 - Roteirização Operador



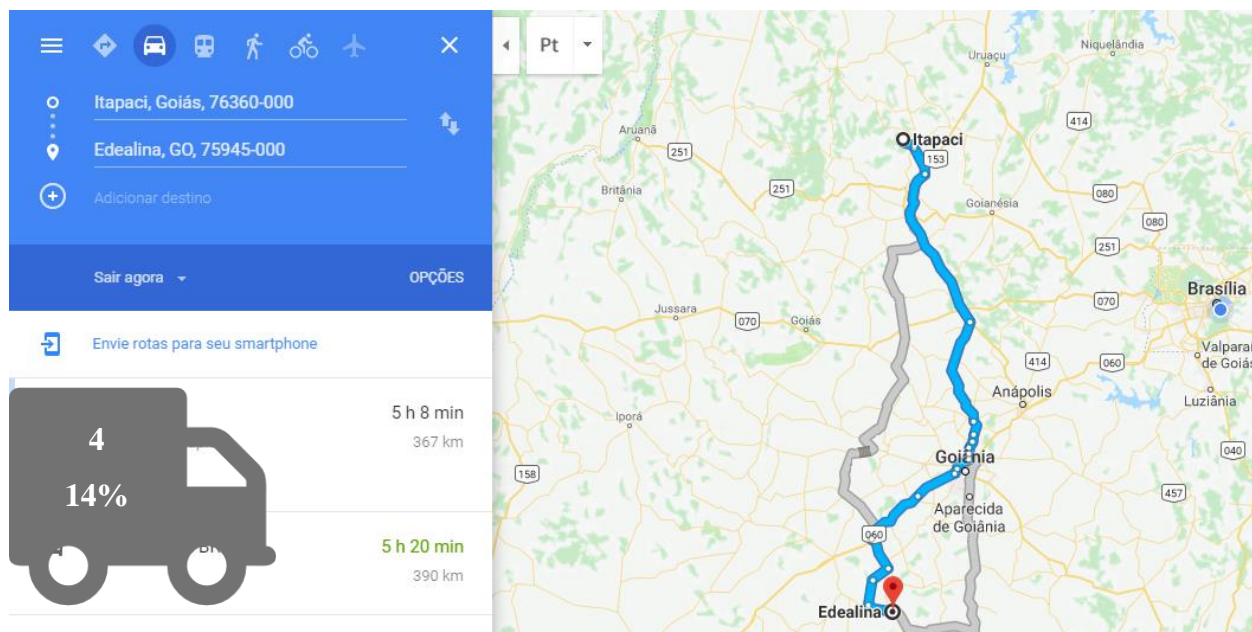


Figura 10: Rota 4 - Roteirização Operador

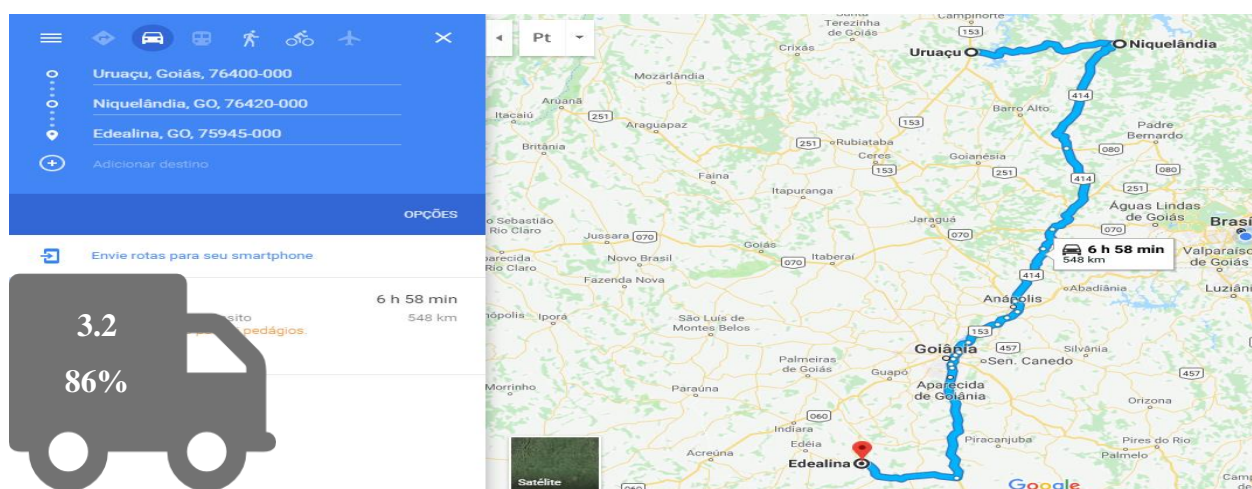


Figura 11: Rota 1 - Roteirização Modelo Novo

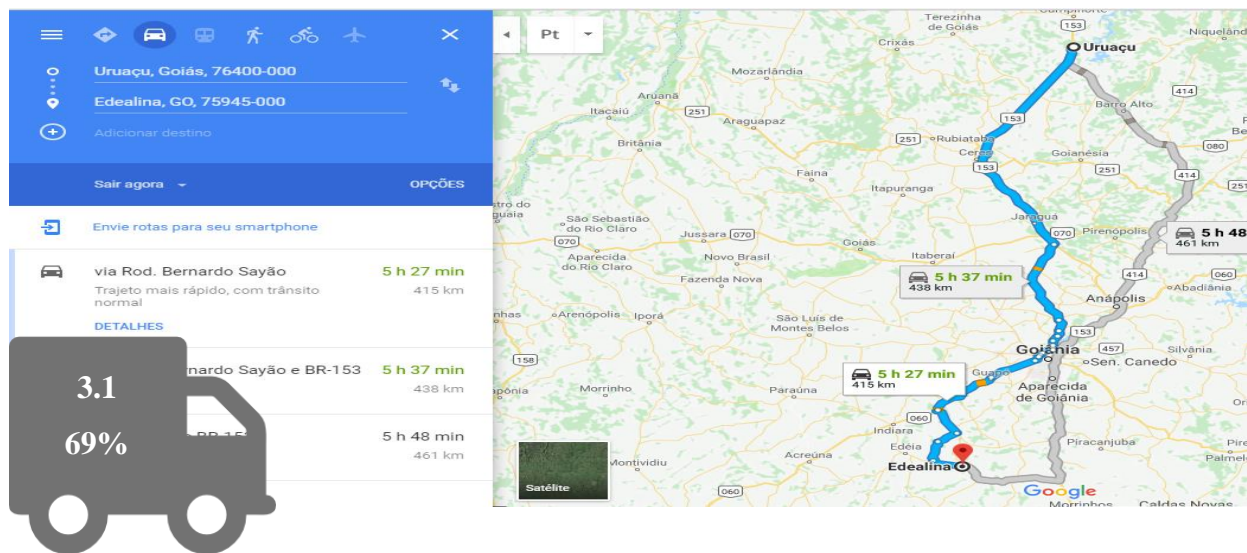


Figura 12: Rota 2 - Roteirização Modelo Novo

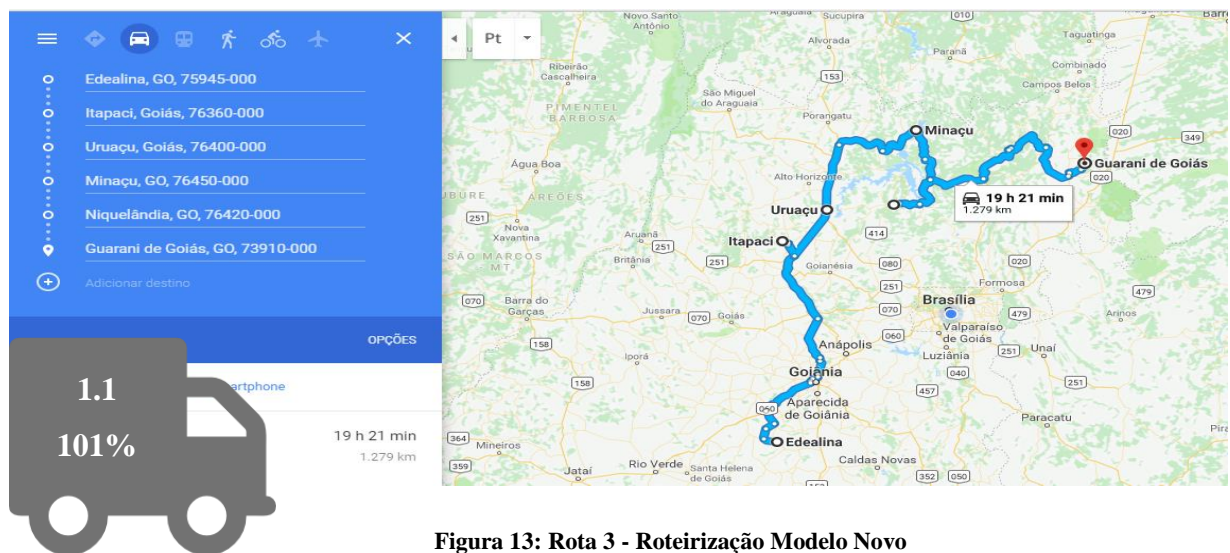


Figura 13: Rota 3 - Roteirização Modelo Novo

Observa-se que, com a utilização do modelo matemático proposto nesse estudo, a roteirização foi otimizada. Foram necessários apenas três caminhões para realizar a entrega dos mesmos pedidos, pois houve uma melhor utilização da capacidade dos caminhões.

## 4.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Foram comparados os resultados de oito dias de atendimento da fábrica de Edealina, e dez dias da fábrica de Sobradinho, no mesmo modelo como apresentado anteriormente.

A Figura 17 apresenta uma comparação dos resultados do roteirizador e do operador. Em média, na unidade de Edealina, foi possível economizar R\$ 1.223,00 por dia, e melhorar o atendimento em 43%. A Figura 18 apresenta a simulação dos resultados e indica um aumento de produtividade de 37%. Isso significa que ao comparar o volume atendido dentro do perfil de caminhões, o roteirizador se mostrou 37% mais produtivo que a roteirização feita pelo operador.

Ao simularmos esse valor diário, por mês e posteriormente ano, considerando uma média de 20 dias úteis por mês, obteve-se uma economia de R\$ 293.687,00 no ano na unidade estudada. No caso da unidade de Sobradinho, os ganhos foram menores, como já esperado, mas ainda assim o roteirizador se mostrou no balanço geral mais produtivo. Na Figura 19 é possível observar um ganho médio de R\$ 389,00 por dia e 17% de melhoria no atendimento. A Figura 20 mostra um aumento de 7% de produtividade da ocupação das frotas que foram os resultados obtidos na simulação dos 10 dias.

Ao expandir este resultado por ano, alcançamos o valor de R\$ 93.428,00 economizados com frete morto. Como Sobradinho já é uma fábrica antiga e consolidada, foi possível comparar os valores encontrados com os valores reais do ano de 2017. Neste ano, os gastos com frete morto na unidade foram de R\$ 106.362, porém esse valor está considerando pedidos que não foram atendidos, e consequentemente não tiveram gastos de frete. Para conseguir comparar os valores, aumentamos a quantidade de pedidos em 17% (nível de atendimento ganho pelo roteirizador), e aí sim foi possível chegar no valor de economia de R\$ 31.275,00 ou 25% dos custos no ano de 2017 na unidade de Sobradinho.

Unidade	Data	Roteirizador			Operador			Roteirizador X Operador		
		Qtd Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ñ atendidos	Qtd Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ñ atendidos	Ton/Dia	R\$/Dia	Ganho de Atendimento
EDEALINA	01.06.2017	3	21	25%	4	16	25%	15,5	R\$ 350,84	38%
EDEALINA	26.06.2017	10	32	0%	19	18	38%	139,1	R\$ 3.149,25	38%
EDEALINA	09.06.2017	3	21	0%	4	16	25%	15,5	R\$ 350,84	25%
EDEALINA	06.06.2017	4	33	0%	12	12	75%	83,8	R\$ 1.897,38	63%
EDEALINA	28.06.2017	16	15	9%	19	11	43%	52,1	R\$ 1.180,06	35%
EDEALINA	30.05.2017	10	14	0%	13	10	64%	32,9	R\$ 745,39	64%
EDEALINA	30.06.2017	10	19	7%	16	13	50%	59,0	R\$ 1.337,01	43%
EDEALINA	29.06.2017	9	14	21%	14	10	57%	34,4	R\$ 779,17	36%
Média Geral		8	21	8%	13	13	47%	54,0	R\$ 1.223,74	43%

**Figura 14: Resumo dos Resultados – Edealina**

Simulação				
	Produtividade	Ton/Dia	R\$/Dia	Ganho de Atendimento
Dia	37%	54,04	R\$ 1.223,74	43%
Mês		1.350,91	R\$ 24.474,83	
Ano		16.210,86	R\$ 293.697,93	

**Figura 15: Simulação dos Resultados - Edealina**



Unidade	Data	Roteirizador			Operador			Roteirizador X Operador		
		Qtd Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ã atendidos	Qtd Caminhão	Ocupação (ton)	Pedidos ã atendidos	Ton/Dia	R\$/Dia	Ganho de Atendimento
SOBRADINHO	01.06.2017	18	22	17%	19	20	30%	34,0	R\$ 850,70	13%
SOBRADINHO	06.02.2017	7	24	20%	7	24	20%	0,0	R\$ (1,08)	0%
SOBRADINHO	06.06.2017	9	25	11%	9	25	26%	0,0	R\$ -	16%
SOBRADINHO	07.06.2017	17	29	0%	16	29	0%	-0,7	R\$ (16,34)	0%
SOBRADINHO	09.06.2017	8	25	0%	9	17	12%	59,7	R\$ 1.492,41	12%
SOBRADINHO	10.06.2017	7	24	0%	7	24	50%	0,0	R\$ (0,83)	50%
SOBRADINHO	29.05.2017	8	17	0%	9	15	0%	15,1	R\$ 378,11	0%
SOBRADINHO	30.06.2017	7	29	18%	8	25	27%	25,1	R\$ 627,16	9%
SOBRADINHO	29.06.2017	13	26	0%	12	26	23%	0,0	R\$ (1,19)	23%
SOBRADINHO	21.03.2017	18	29	4%	18	29	26%	0,0	R\$ -	22%
SOBRADINHO	22.03.2017	14	28	0%	15	26	32%	26,1	R\$ 652,14	32%
SOBRADINHO	27.05.2017	8	17	40%	10	14	70%	27,6	R\$ 690,34	30%
Média Geral		11	25	9%	12	23	26%	15,6	R\$ 389,28	17%

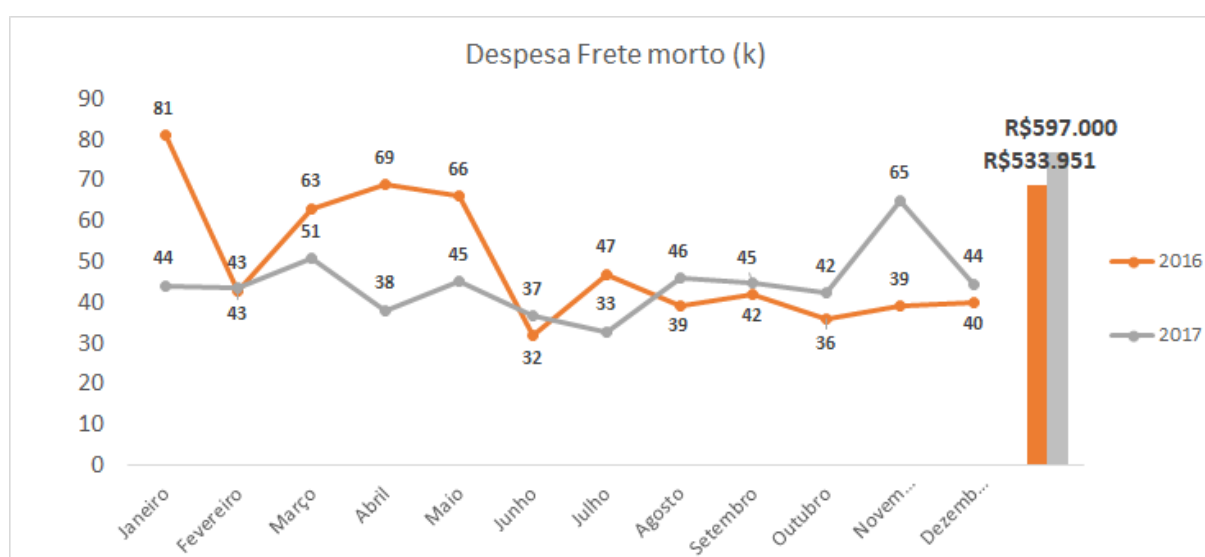
Figura 16: Resumo dos Resultados - Sobradinho

Simulação					Valor Real - 2017				Roteirizador X Real
	Produtividade	Ton	R\$	Ganho de Atendimento		Ton	R\$	R\$/Dia X Ganho de Atendimento	Economia R\$
Dia	7%	15,56	R\$ 389,28	17%	Dia	22,59	R\$ 443,18	R\$ 519,60	25%
Mês		389,12	R\$ 7.785,70	17%	Mês	451,73	R\$ 8.863,57	R\$ 10.392	
Ano		4.669,40	R\$ 93.428,39	17%	Ano	5.420,72	R\$ 106.362,85	R\$ 124.704	

Figura 17: Simulação dos Resultados - Sobradinho

Analisando os resultados de todas as unidades da Regional Centro Norte, apresentados na Figura 21, pode-se observar que nos anos de 2016 e 2017 foram gastos em torno de meio milhão com frete “vazio”, que não tem lucro atrelado, somente gastos para garantir a satisfação do cliente, e com isso uma oportunidade de economia muito grande.

Utilizando os 25% encontrados de melhoria na unidade de Sobradinho, teríamos uma economia na regional de R\$ 149.250,00 no ano de 2016 e de R\$ 133.487,00 em 2017. Considerou-se os 25% para todas as unidades, apesar de que Sobradinho é a melhor das unidades com relação a roteirização e nível de atendimento do cliente, ou seja, essa melhoria deve ser ainda maior nas outras unidades.



**Figura 18: Despesa de Frete Morto 2016 x 2017**

Como mencionado na Seção 3.2.1, os 42,2% dos pedidos que ficaram pendentes no primeiro trimestre de 2017, os quais 81,5% são de responsabilidades da logística, principalmente a falta de complemento, podemos verificar que 34,39% dos pedidos não foram atendidos por conta de dificuldade de distribuição de carga.

Pensando em nível de atendimento, e analisando a correlação do OTIF com R\$ gastos com frete morto em Sobradinho, é possível verificar que para garantir um nível de atendimento alto, gastamos mais, e quando resolvemos segurar o gasto de frete morto, o N° do indicador cai. Isto pode ser observado na Figura 22.

Como a ferramenta mostrou tanto um aumento de 17% no nível de atendimento assim como uma economia de 25%, o que indica que com uma melhor combinação dos pedidos, é possível garantir o nível de atendimento e reduzir os gastos desnecessários.

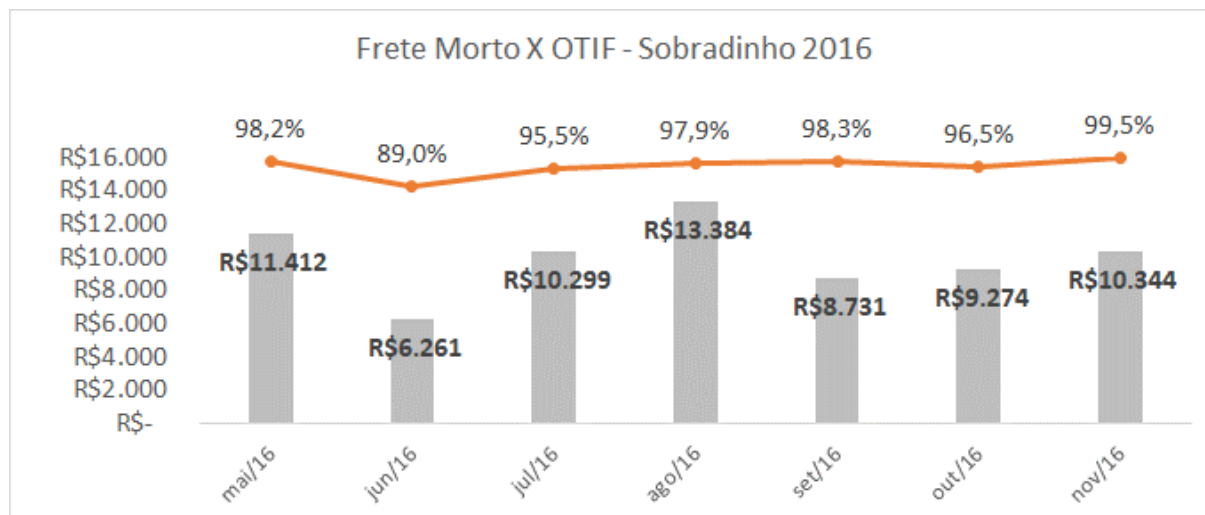


Figura 19: Correlação Frete Morto x OTIF

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 CONCLUSÃO

O mercado atual está cada vez mais exigente e competitivo. A logística é uma área onde decisões que causam grande impacto na operação como um todo, devem ser tomadas rapidamente, sendo assim, a existência de processos definidos e automatizados auxilia na tomada de decisão.

Os custos logísticos muitas vezes chegam a superar a margem de lucro média, como no caso da empresa estudada, já que o produto vendido possui baixo valor agregado, tornando assim redução de gastos na área essenciais para a empresa.

Dentro da logística, custos com transporte é um dos mais relevantes. A roteirização é uma das atividades básicas relacionadas ao transporte dentro de uma empresa, e por isso, o trabalho se mostra como uma grande oportunidade de otimização de gastos com fretes e trazendo uma vantagem competitiva.

O estudo propôs a redução dos custos com entrega, a partir da otimização de veículos, que foi realizado com um modelo que combinou metodologias de Pesquisa Operacional e Logística.

O modelo matemático desenvolvido se mostrou muito eficaz, trazendo economias de cerca de R\$ 149.250,00 ao ano em custos de frete morto, além de melhoria de em média 30% no nível de atendimento ao cliente. Os ganhos médios foram estimados a partir da combinação das unidades estudadas, que ao analisar o cenário de toda a regional, são os dois extremos, a pior (Edealina) e melhor unidade (Sobradinho) nos indicadores relevantes para o estudo. Ao simular esse valor para todas as unidades da regional, considerando o volume de entrega médio de cada, chega-se a uma economia anual considerável para a empresa, principalmente considerando os custos de implementação do projeto que seriam mínimos visto que a solução foi planejada visando as restrições da empresa.

Outros benefícios que poderão ser contabilizados no futuro, como melhor utilização dos recursos humanos para atividades de melhorias da empresa, diminuição de erros humanos e de contribuições indevidas na combinação de preços de fretes.

Considerando que o modelo foi idealizado pensando na realidade da empresa, será facilmente desdobrado e adaptado a realidade das unidades, porém ainda existem algumas restrições de projeto que podem ser aprimoradas visando maiores ganhos.

Hoje a definição de fretes da empresa é negociada de maneira informal por cada unidade, e com isso não existe uma margem de valor que poderia ser negociada de forma a garantir a mínima despesa com os custos de frete. Uma curva de frete ótimo poderia ser desenvolvida e utilizada em conjunto com o modelo desenvolvido, adicionando essa nova restrição às premissas da roteirização.

Por ser uma junção do *Knapsack Problem* e da Heurística de Clarke Wright, adaptadas para melhor atender aos objetivos do trabalho, o programa criado em Excel se apresentou muito eficiente ao que foi proposto neste trabalho de conclusão de curso, além de se mostrar flexível às mais diversas possibilidades de solução de problemas.

Por fim, é possível observar que este projeto possui grande potencial de utilização no mercado por diversas empresas dos mais variados segmentos, por ser uma tecnologia simples e de fácil implantação. Além disto, este trabalho tem a capacidade de ser modificado facilmente para atender às necessidades destas empresas que estão interessadas em diminuir os gastos com logística e roteirização, podendo gerar resultados econômicos expressivos e melhorar a qualidade do serviço entregue ao cliente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ana Cristina de Faria, M. d. (2015). *Gestão de Custos Logísticos*. São Paulo: Atlas.
- BALLOU, R. H. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. 5. ed. Local de publicação ARTMED, Editora.
- BALLOU, R. H. (2007). *Transportes, administração de materiais e distribuição física: Logística Empresarial*. 1. ed. Atlas.
- Bellmore, M., & Nemhauser, G. (1968). The traveling salesman problem: a survey. *Operations Research*, pp. Vol. 16. 538 - 558.
- C.W. Churchman, R. L. (1957). *Introduction to Operations Research*. New York: John Wiley & Sons: New York.
- Campello, R. E., & Maculan, N. (1994). *Algoritmos e Heurísticas: Desenvolvimento e Avaliação de Performance*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense.
- Cimentos, V. (2016). *Relatório Integrado da Votorantim Cimentos*. São Paulo: Votorantim Cimentos.
- Clemente, Q. K. (2010). *Resolução de Problemas da Mochila Multicritério através de técnicas Metaheurísticas*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.
- Deckro, R. F. (1977). Multiple objective districting: A general heuristic approach using multiple criteria. *Operational Research Quarterly*, pp. 28/4 (Part II) 953 - 961.
- Ehr Gott & Ryan, D. M. (2002). Constructing Robust Crew Schedules with Bicriteria Optimization. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, pp. 139-150.
- Ellon, S., Ackoff, R., Holstein, W., & Tanenbaum, M. (s.d.). *Encyclopedia Britannica*. Acesso em 25 de 10 de 2016, disponível em <https://global.britannica.com/topic/operations-research#ref22348>
- Fréville, A. (2004). The Multidimensional 0–1 Knapsack Problem: An Overview. *European Journal of Operational Research*, 155, pp. 1–21.

- GAMA, M. B. (2011). *Roteirização de Veículos: Implementação e Melhoria do Método de Clarke & Wright*. Universidade Federal do Vale do Rio São Francisco, Juazeiro: TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção,.
- GERHARDT, T., & SILVEIRA, D. (2009). *Métodos de Pesquisa* (1ª ed.). Porto Alegre: UFRGS.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. (2013). *Introduction to operations Research* (9ª ed.). New York: McGraw Hill.
- Kleber Fossati, P. F. (2003). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Atlas.
- LAPORTE, G. (1992). *The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms*. *European Journal of Operational Research*. v. 59: n. 3.
- Liu & Sheng, F.-H. &. (1999). *A Method for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Time Windows*. Hsinchu, Taiwan: Department of Industrial Engineering and Management National Chiao Tung University, Proc. Natl. Sci. Council., vol 23, n. 4,.
- LOPES, L. A., & MELO, C. S. (2003). Roteirização simplificada. *Revista Tecnológica*.
- Maciel, J. (1974). *Elementos de teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes.
- Martello, S. &. (1990). *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*.
- Maximiano, A. C. (2000). *Introdução à administração* (5ª ed.). São Paulo: Atlas.
- Nicholson. (1971). Optimization Techniques. Em Nicholson, *Optimization in Industry* (Vol. I). London: Longman Press.
- Novaes, A. G. (2006). *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Rio de Janeiro : Campus.
- Porter, M. (1986). *Estratégia Competitiva – Técnicas para Análise de Indústrias e de Concorrência* (18ª Edição ed.). São Paulo - SP: Campus.
- RAGO, S. F. (2002). Estratégias para distribuição e transportes (II). *Revista Log&Mam – Logística, Movimentação e Armazenagem de Materiais*.

- SILVA, E. L., & MENEZES, E. M. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação* (4<sup>a</sup> ed.). Florianópolis: UFSC.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems. *Operations Research*, pp. Vol. 35. 254 - 265.
- Tartuce, T. J. (2006). *Métodos de Pesquisa*. Fortaleza: UNICE - Ensino Superior.
- Xinjie Yu, M. G. (2010). *Introduction to Evolutionary Algorithms*. Springer.



## APÊNDICE A – FIGURAS

Neste anexo encontram-se as Figuras 3, 4 e 5, as quais foram ampliadas para melhor visibilidade do leitor.

**Votorantim Cimentos**

**Painei Inicial** Guerra do Dia Matrizes Roteirização De\_Para Análises PG

**Instruções**

Para iniciar o uso do Roteirizador insira a unidade de origem, e o período de entrega dos pedidos. Essas informações irão puxar do SAP a Guerra do Dia da unidade no período definido.

Na etapa de Caminhões, deve-se inserir a quantidade e volume de cada tipo de caminhão disponível no dia da roteirização.

**Painei Inicial**

Informações Gerais	
Unidade	4071
Data Inicial	17.05.2017
Data Final	30.05.2017

Caminhões		
Tipo	Vol.	Qtd.
1	14	6
2	28	3
3	38	1
4	40	
5	48	

E-mail	
Tipo	Título do e-mail
Transportador	MAPA Transportador
Para	
Cópia para	

Atualizar Base

Gerar Rota

Enviar E-mail

Figura 20: Painei Inicial Roteirizador. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Instruções

## Matrizes

		Peso (Vários itens)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Para (Vários itens)		Rótulos de Colun. 1								
		BARRO ALTO GO	CAMPINORTE G	COCALZINHO DE GOI	CORUMBA DE	CRISTALINA	GOIANESIA G	MINACU GC	PORANGATU G	URUANA GO
Incooterms	Cidade - Estado									
1	(vazio) BARRO ALTO GO	0	86,65	112,695	132,809	322,774	48,771	287,889	192,893	127,34
2	(vazio) CAMPINORTE GO	0	0	198,986	219,1	409,065	135,062	202,159	107,164	162,177
3	(vazio) COCALZINHO DE GOIAS GI	0	0	0	20,643	220,501	149,03	400,209	305,213	171,252
4	(vazio) CORUMBA DE GOIAS GO	0	0	0	0	212,658	102,391	420,277	325,281	151,129
5	(vazio) CRISTALINA GO	0	0	0	0	0	364,129	477,587	520,312	369,506
6	(vazio) GOIANESIA GO	0	0	0	0	0	0	336,271	241,275	78,62
7	(vazio) MINACU GO	0	0	0	0	0	0	0	169,802	363,358
8	(vazio) PORANGATU GO	0	0	0	0	0	0	0	0	268,355
9	(vazio) URUANA GO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 21: Cálculo da Matriz de Distâncias



Peso (Vários itens) 									
Distância Pontual inicial	214,979	301,232	124,041	144,155	156,045	251,292	361,292	407,475	294,764
Rótulos de Colun. 	BARRO ALTO GO CAMPINORTE G COCALZINHO DE GOIAS ( CORUMBA DE GOIAS ( CRISTALINA G GOIANESIA G MINACU GC PORANGATU E URUANA GO								
343,308	403,516	206,211	36,36000001	322,253	178,382	383,378	495,114	509,743	
516,211	403,478	206,173	36,32200001	322,215	350,365	555,36	546,53	595,996	
-	425,273	227,439	47,69500001	131,056	-24,876	180,12	360,264	418,805	
-	-	268,196	75,65200001	197,809	-24,83	180,166	400,501	438,919	
-	-	-	300,2	-52,039	-70,25	-2,975	194,014	450,809	
-	-	-	-	407,337	166,313	371,309	580,147	546,056	
-	-	-	-	-	612,584	552,782	405,409	656,056	
-	-	-	-	-	-	768,767	546,595	702,239	
-	-	-	-	-	-	-	702,239	589,528	

Figura 22: Cálculo da Matriz de Ganhos